Aus der Abteilung für konservierende Zahnheilkunde des Zahnärztlichen
Institutes der Universität Berlin
(Leiter: Prof. Dr. Wannenmacher)

Ein Beitrag zu der Frage der Zusammenhänge zwischen Mineralisationszustand des Schmelzes und Kariesanfälligkeit

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
an der Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Richard Bardehle
aus Berlin-Lichterfelde

Tag der Promotion: 14. Nov. 1938

Druck: Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich i. W.

Dekan: Prof. Dr. Siebeck
Referent: Prof. Dr. Wannenmacher
Korreferent: Prof. Dr. Schröder

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Berlin.

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet!

Es ist kein Zufall, daß gerade die Kariesforschung in der zahnärztlichen Wissenschaft einen breiten Raum einnimmt. Ist doch die Karies mit ihren Folgen im weitesten Sinne die Hauptkrankheit, die den Patienten zum Zahnarzt führt. Bisher ist es noch nicht gelungen, ein Mittel oder eine Methode zu finden, mit der man sie überall auf die Dauer verhüten kann. Um aber wirksame Prophylaxe treiben zu können, ist es nötig, daß die Krankheit als solche in ihrer Aetiologie, in Beginn, Verlauf und Folgen genauestens bekannt ist. Die Karies beginnt — abgesehen von der Zahnhalskaries —am Schmelz, als dem Mantel des Zahnes. Diese Substanz ist das Kernproblem in der Gesamtfrage „Zahnkaries". Die Erforschung seiner normalen und pathologischen Histologie ist noch längst nicht abgeschlossen. Aber die Erkenntnisse sind heute doch schon auf viel festeren Grundlagen als etwa vor dreißig Jahren aufgebaut. Eine wesentliche von ihnen oder vielleicht die wichtigste ist die Kariestheorie von Miller. Sie wird heute von allen maßgebenden Forschern anerkannt. Miller hat den „Anlaß" der Karies klar als chemische und parasitäre Einflüsse erkannt. Die tiefere „Ursache" dagegen, welche Rolle Konstitution und Disposition spielen, ist nach wie vor Gegenstand der zahnärztlichen Forschung. Es sind z. B. Untersuchungen über den Einfluß des Speichels, über den Einfluß von Form und Stellung der Zähne und schließlich über die Beeinflussung der Kariesbereitschaft durch die Struktur angestellt worden. In der vorliegenden Arbeit ist meine Aufgabe: die Bearbeitung der Frage, ob beim Entstehen der Karies der innere Aufbau des Schmelzes eine Rolle spielt oder nicht.

Dieses Problem, ob die Kariesbereitschaft von dem Mineralisationsgrad bzw. von einem größeren oder kleineren Gehalt an organischen Stoffen abhängt, hat man schon auf die verschiedenste Weise zu beantworten versucht. Es ist eine feststehende Tatsache, daß prähistorische Zähne kaum oder gar nicht von Karies befallen waren. Gaßmann pulverisierte ganze Zähne und stellte bei der Analyse folgendes fest:

Prähistorische Zähne	25% org. Bestandteile,
jetzige menschliche Zähne	22% org. Bestandteile,
zum Vergleich Hundezähne	26% org. Bestandteile.

Nach diesen Zahlen, die sich allerdings nicht allein auf Schmelz, sondern auf den ganzen Zahn beziehen, kann gesagt werden, daß mit fallendem Gehalt an organischen Bestandteilen die Karies zunimmt. Im Ge-

gensatz dazu hat sich der Kalkgehalt bei menschlichen Zähnen nicht verändert, und zwar wurden Zähne der Jetztzeit als auch Zähne von Menschen aus den Jahren 200 bis 50 v. Chr. als auch Mumienzähne, die 4000 Jahre alt sind, verglichen. Der Gehalt an Magnesia hat um 150%, der Gehalt an Phosphorsäure um 1—2% zugenommen. Alle anderen anorganischen Bestandteile sind unverändert geblieben.

Es ist bekannt, daß die Zähne der unzivilisierten Völker gegen Karies sehr resistent sind. Weiter ist es eine Erfahrungstatsache, daß gelbliche Zähne der Karies größeren Widerstand entgegensetzen als weiße. Pickerill hat diese Ansichten experimentell nachgeprüft. Zum besseren Verständnis seiner Ergebnisse seien mir einige Vorbemerkungen gestattet:

Die Mineralisation der Schmelzprismen ist nicht ein Vorgang, der kontinuierlich von Anfang bis Ende störungslos verläuft. Vielmehr konnte man nachweisen, daß die Querstreifen in den Prismen der Ausdruck von Verkalkungspausen sind. Nach Zahl der Streifen in jedem Prisma und Gesamtdauer der Mineralisation an diesem Prisma konnte man ausrechnen, daß täglich eine solche Verkalkungspause eintritt, wobei wahrscheinlich die Nachtruhe dafür verantwortlich gemacht werden kann. Erkrankungen, die irgendwie den Mineralstoffwechsel bei der Zahnbildung stören, führen zu einem gehäuften Auftreten der Querstreifen hintereinander. Da nun die Querstreifung nicht nur in einzelnen Prismen, sondern in allen auftritt (man sieht im mikroskopischen Präparat entweder die Streifen in einem Zuge über alle Prismen hinwegziehen, oder die einzelnen Prismenquerstreifen sind treppenförmig voneinander getrennt), entsteht nun durch Bildung mehrerer Querstreifen hintereinander ein breiter Streifen, der sich unter Umständen durch den ganzen Zahn erstreckt. So entstehende Gebilde nennt man nach ihrem ersten Beschreiben Retziusstreifen.

Diese Retziusstreifen laufen vom Zahnbein nach außen und kauflächenwärts, und zwar münden sie im Zahnhalsgebiet in sehr dichter Reihenfolge auf der Schmelzoberfläche; im Gebiet des größten Umfanges ist der Abstand jeder Einmündung von der nächsten viel größer geworden, und auf der Kaufläche laufen die Streifen ungefähr parallel zu ihr. Die Einmündungen sind schon mit bloßem Auge als kreisförmig um den Zahn herumlaufende Riefen zu erkennen. Pickerill nannte sie Imbrikationslinien, heute ist der Ausdruck Perikymatien geläufiger. Diese Verhältnisse sind aber nur so bei Zähnen von zivilisierten Menschen (nach Pickerill). Anders sind sogenannte native (Pickerill: Zähne von unzivilisierten Völkerschaften) Zähne gebaut. Bei ihnen beginnt am Zahnhals der Schmelz meist nicht so allmählich (mit nur kleiner Stufenbildung zum Zement), sondern er zeigt fast sofort seine normale Dicke, wie sie auch in der Gegend des Kontaktpunktes und an der Kaufläche vorhanden ist. Nach dem oben Gesagten bedeutet dies, daß

keine Retziusstreifen in die freie Zahnaußenfläche einmünden, oder doch wenigstens nur wenige. Wenn man bedenkt, daß in einer Retentionsstelle für Speisereste (z. B. im Approximalraum) das eine Mal bei nativen Zähnen vollkommen glatter Schmelz, das andere Mal bei Zähnen von Kulturmenschen die Perikymatien dicht aneinanderliegen, dann kann man sich gut vorstellen, daß in letzterem Fall leicht eine Karies entstehen kann (wie der weiter unten zitierte Walkhoff anführt) und daß diese Strukturbesonderheiten schon einen Grund dafür abgeben können, daß native Zähne verhältnismäßig kariesunempfindlich sind.

Pickerill unterteilte weiter Kulturmenschenzähne in sklerotische („harte", gelblich aussehende) und malakotische („weiche", weiße) und versuchte festzustellen, ob wirklich ein Unterschied besteht in ihrer Härte und Säureempfindlichkeit. Er verwendete Diamantspitzen und ritzte damit die Zähne mit Hilfe einer Apparatur, auf der sich genau das die Spitze belastende Gewicht einstellen ließ. Der Zahn wurde unter der Spitze so lange mit immer stärker werdendem Druck verschoben, bis der Schmelz geritzt und der Riß nach Einreiben mit Graphit mit freiem Auge sichtbar wurde. Bei Verwendung einer sehr scharfen Spitze mußte rund 7 % mehr Gewicht verwendet werden bei sklerotischem Schmelz gegenüber malakotischem; bei Verwendung einer mittelscharfen Spitze rund 30 % mehr und bei einer stumpfen 50 % mehr Gewicht. Es gibt demnach einen ziemlich bedeutenden Härteunterschied zwischen hartem („sklerotischem") und weichem („malakotischem") Schmelz. Nativer Schmelz ist auf diese Weise nicht untersucht worden.

Folgerungen aus diesen Versuchen in bezug auf verschiedene Kariesbereitschaft je nach der Härte hat Pickerill nicht gezogen. Karlström hat dagegen bei chemischen Untersuchungen festgestellt, daß „große Härte des Schmelzes nicht unbedingt geringe Kariesfrequenz zur Folge habe" und weiter, daß „kein Zusammenhang zwischen Härte des Schmelzes und Gehalt an organischer Substanz bestehe" (also doch wohl auch nicht an anorganischer).

Zur Feststellung der verschiedenen Löslichkeit von nativem, sklerotischem und malakotischem Schmelz verwendete Pickerill Milch- und Salzsäure. Nach dreitägigem Liegen in Milchsäure konnte von den malakotischen Zähnen ein ziemlich starker Entkalkungsrückstand abgekratzt werden, während er bei sklerotischen nicht so stark war, und bei nativen Zähnen gerade noch ein bißchen abgeschabt werden konnte. Bei den Versuchen mit Salzsäure wurde der Gewichtsverlust gemessen. Malakotische Zähne büßten dabei fast 50 % mehr ein als sklerotische, die ihrerseits rund 30 % mehr an Gewicht verloren als native.

Demgegenüber stellten Thurlow und Bunzell fest, daß die „Widerstandsfähigkeit von Zähnen mit sogenanntem harten Schmelz und Zähnen mit sogenanntem weichen Schmelz Unterschiede zeigten"

(bei Versuchen über Säureeinwirkung). Weitere bemerkenswerte Ergebnisse konnten die beiden Forscher erzielen, indem sie fanden, daß „der Schmelzteil leichter von Säuren angegriffen wird als der Wurzelteil infolge seines größeren Gehaltes an organischem Material." Diese Feststellung ist m. E. genau das Gegenteil von den Versuchsergebnissen Pickerills, denn seine malakotischen Zähne haben doch wohl ihre „Weichheit" von erhöhtem Gehalt an organischen Bestandteilen.

Einen anderen Weg der Untersuchung ist Black gegangen. Er hat einmal Zähne von Personen analysiert, die stark an Karies leiden, und zweitens Zähne von Menschen, die dagegen resistent waren. Dabei hat sich herausgestellt, daß Zähne, die stark von Karies befallen waren, ebenso viel Kalksalze enthalten und ebenso hart und ebenso spezifisch schwer sind wie Zähne von kariesresistenten Personen.

Karlström ist denselben Weg gegangen und gibt einen höheren Stickstoffgehalt an bei Zähnen mit starker Kariesfrequenz als bei solchen mit schwacher Kariesfrequenz.

Der Schmelz ist keine homogene Masse, sondern besteht aus Teilen, die mehr anorganische und Teilen, die mehr organische Substanz enthalten. Abgesehen von dem Unterschied in der Mineralisation zwischen Schmelzprismen und interprismatischer Substand gibt es Stellen im Schmelz, die durch besonders hohen Gehalt an organischen Baustoffen ausgezeichnet sind. Einmal sind dies die Lamellen und Büschel und zweitens die Querstreifen und die Retziusstreifen. Nach Meyer sind Büschel Blätter minderverkalkter interprismatischer Substanz, die vom Dentin her nach der Zahnoberfläche hin verlaufen. Wird diese von den Büscheln erreicht, dann spricht man von Lamellen (Meyer). Lehner und Plenk vertreten demgegenüber die Ansicht, daß Büschel „keine von Prismen und Kittsubstanz trennbaren, in sich zusammenhängenden Massen in Faser- oder Blattform" sind. „Vielmehr sind sie nichts anderes als schwächer verkalkte Schmelzpartien, die sich aber nur auf dünne Schichten in wechselnden Querschnittsebenen beschränken, wodurch der blattförmige Eindruck zustande kommt". Die Verlaufsrichtung entspricht der der Prismen, d. h. der Büschel folgt jeder Biegung der Prismen. Im Gegensatz hierzu „pflegen die Lamellen die seitlichen Ausbiegungen der Prismen auf ihrem radiären Verlauf nicht mitzumachen." Während die Büschel natürliche Bildungen sind, „dürften die Lamellen die Narben von am lebenden Zahn entstandenen Sprüngen sein."

Im Gegensatz zu Meyers Meinung (nur die interprismatische Substanz ist minderverkalkt) und der Lehner und Plenks (Prismen und Kittsubstanz sind minderverkalkt) vertritt Faber den Standpunkt, daß nur die Prismen bei der Büschelbildung schlecht mineralisiert seien. Jede dieser drei Theorien hat viele namhafte Anhänger. Auch für jede der beiden Hypothesen, daß Büschel und Lamellen nur graduell

unterschieden sind und daß sie vollkommen verschiedene Gebilde darstellen, treten viele namhafte Autoren ein. Weitere Einzelheiten sind ebenfalls sehr umstritten. Auf sie näher einzugehen, verbietet mir die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, zumal über das Verhalten der Lamellen, das hier im wesentlichen allein betrachtet werden soll, chemischen und parasitären Einflüssen gegenüber im großen und ganzen eine einheitliche Meinung herrscht.

Beim Entkalken eines Zahnschliffes unter dem Mikroskop sieht man, wie auch Keil schon beobachtet und beschrieben hat, zum Schluß außer dem Schmelzoberhäutchen und einem unbestimmten „Film", der den organischen Teil von Prismen und interprismatischer Substanz darstellt, besonders deutlich die Büschel und Lamellen vom gesamten Schmelz zurückbleiben. Man kann daher wohl behaupten, daß diese Gebilde höchstens nur sehr wenig anorganische Bestandteile enthalten können. An der sonst intakten Oberfläche entstehen also am ganzen Zahn regelrechte Lücken in der sonst regelmäßig mineralisierten Schmelzoberfläche. Unter anderen glaubt Faber, daß an diesen Stellen die Möglichkeit des Eindringens von Bakterien gegeben ist. Ein wichtiger Faktor muß aber meist noch hinzukommen, damit dieser Prozeß vor sich gehen kann: Die Einmündung der Lamelle in die Schmelzoberfläche muß an einer Retentionsstelle liegen, damit die Bakterien Zeit haben, in die Lamelle hineinzuwachsen. Um ein Beispiel für die Infektion durch Lamellen zu geben, weist Faber darauf hin, daß auch an äußerlich intakt erscheinenden Zähnen nicht selten Gangrän auftritt, und zwar könne die auf irgendeine Weise (Trauma: z. B. häufiges Abbeißen des Fadens bei Näherinnen) abgestorbene Pulpa entweder auf dem paradentalen Wege infiziert werden oder von außen direkt durch Schmelzlamellen. Letztere Möglichkeit hält Faber für wahrscheinlicher als die hämatogene Infektion. Daß die Bakterien auf diesem Wege durch die Lamellen nicht schon unbedingt im Schmelz Karies hervorrufen müssen, hat Brammer gezeigt. Er hat „Lamellen im Schnitt untersucht und fand überraschend, daß nicht nur im Bereich eines kariösen Prozesses, sondern auch im nicht erkrankten Zahnschmelz die Lamellen mit Bakterien im wechselnden Maße angefüllt sein können. . . . Daraus ergibt sich, daß die Lamellen von Bakterien durchwachsen sein können, ohne daß der Schmelz kariös wird. Die Lamellen sind also nicht entscheidend für die Kariesneigung."

Über Quer- und Retziusstreifen habe ich schon Näheres berichtet. Hier genügt daher die Feststellung, daß die Retziusstreifen (nach Baumgartner) Stellen mit bedeutend intensiverer Anhäufung von organischer Substanz und entsprechend geringerer Verkalkung als ihre Umgebung sind. Lehner und Plank stellen fest, daß an den Stellen, an denen der Streifen das Prisma kreuzt, vermehrt Kittsubstanz vorhanden ist.

Das Verhalten der Retziusstreifen gegenüber der Karies wird in der Literatur fast stets mit dem Verhalten der Hypoplasien zusammen behandelt. Walkhoff spricht geradezu von inneren Hypoplasien („Retziusstreifen") und äußeren (die man im allgemeinen als Hypoplasien bezeichnet). Andere Forscher hingegen wollen die Beziehungen nicht so eng wissen: Lehner und Plank sagen darüber folgendes: „Obwohl die Parallelstreifen Streifen von unterentwickeltem Schmelz darstellen, wäre es doch irreführend, zu behaupten, daß sie von eigentlichen Hypoplasien nur durch geringe Intensität verschieden sind; Zsigmondy hat vielmehr gezeigt, daß eigentliche Hypoplasien nicht nur die ganze Dicke des Schmelzes durchsetzen, sondern daß in ihnen außerdem die Prismen im Gegensatz zu den Parallelstreifen wirklich unterbrochen sind."

Die Schmelzhypoplasien sind ganz besonders Gegenstand umfangreicher Forschungen. Ein großer Teil der Autoren spricht sich gegen eine kariesfördernde Eigenschaft dieser Fehlbildungen aus. Andere sind in der Lage, anhand eines umfangreichen Untersuchungsmaterials das Gegenteil nachzuweisen. Ich möchte zunächst eine genaue Definition anführen:

„Die Schmelzhypoplasie tritt auf im Gefolge von Krankheitszuständen, die gleichzeitig mit einer hochgradig akuten Störung der Kalkretention einhergehen. Tetanie . . . als Ausdruck hochgradiger Senkung des Serumkalkspiegels einerseits, toxisch-infektiöse Einflüsse auf dem Boden florider Rachitis andererseits dürften bei entsprechender Disposition die Bedingungen erfüllen, welche für das Aufhören der Kalkablagerungen im Schmelz erforderlich sind" (Calteux). Nach Gottlieb entstehen dann die Hypoplasien durch den Einsturz der zwar normal gebildeten, aber nur mangelhaft oder gar nicht mineralisierten Grundsubstanz.

Folgende amerikanische Forscher vertreten die Theorie der vitalen Resistenz der organischen Struktur des Schmelzes: Bibby, Boedecker, v. Beust und Howe (letztere drei nach Bibby). Brady stellt sogar die These auf, daß „selbst schwere Störungen des Kalkstoffwechsels ohne Bedeutung für das Auftreten der Karies sind." Milhahn hat bei einer Patientenzahl von 1400 feststellen können, daß „im Vergleich mit dem durchschnittlichen Kariesprozentsatz (bei den Frauen 40,79 %, bei den Männern 35,41 %) die hypoplastischen weiblichen Gebisse um 8,94 %, die männlichen um 11,82 % weniger an Karies erkrankt sind."

Ein gehäuftes Auftreten von Hypoplasien und damit gute Untersuchungsmöglichkeiten boten die im Kriege geborenen Kinder. „Nach den Ermittlungen von Drechsler und Schöngarth und anderen wiesen diese Kinder auffällig viel hypoplastische Veränderungen auf (25 bis 36 %), während der Index für die Vorkriegsgeneration zwischen 3 und 16 % sich bewegte" (Milhahn). Eine erhöhte Disposition zu

Karies konnte aber trotz dieser Störungen in der Schmelzbildung von Milhahn nicht beobachtet werden.

Einen weiteren dankbaren Untersuchungsgegenstand fand man in dem sogenannten gefleckten Schmelz (mottled enamel), das ist Schmelz, der an verschiedenen Stellen schlecht mineralisiert, eben „gefleckt" ist. McKay stellte sogar fest, daß er im histologischen Bilde von entkalktem Schmelz nicht zu unterscheiden ist. Daß Zähne mit diesen Fehlbildungen genau so wie normale Zähne an denselben Stellen wie diese, nicht also unbedingt an den Flecken) von Karies befallen werden, hat McKay in mehreren tausend Untersuchungen gefunden, ja daß vielleicht sogar eine gewisse Kariesresistenz besteht. Maldon hat die Ursache dieser merkwürdigen Anomalie in einem wesentlich höheren als normalen Fluorgehalt festgestellt. Die zu diesen Untersuchungen zur Verfügung stehenden Zähne waren kariesfrei ohne Ausnahme!

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen haben viele Forscher, kraß ausgedrückt, gefunden, daß „der Kariesgrad eines Zahnes gewöhnlich dem Strukturdefekt proportional sei, d. h. an gut verkalkten Zähnen finde sich geringe, an schlecht verkalkten umfangreiche Karies." May Mellanby, die diesen Satz aufstellte, hat an 1036 Milch- und 266 bleibenden Zähnen beobachten können, daß 89 % der untersuchten Zähne der obigen Hypothese entsprochen haben, während nur 11 % Ausnahmen waren. Später konnte die Autorin ihre Ergebnisse noch bestätigen, als sie 2500 Schulkinder in County Durham untersuchte. 83 % von ihnen waren rachitisch, und nur 9 % dieser rachitischen Kinder waren kariesfrei. Von den 17 % rachitisfreien Kindern hatten 73 % keine Karies.

Ebenso hat Driak bei Untersuchungen in Wien festgestellt, daß die Rachitis in hohem Maße eine Disposition für Karies schafft. Von 1100 untersuchten Patienten hatten 75,5 % kariöse Zähne bzw. keinen Zahn mehr im Mund. Bei 79 Personen stand in der Anamnese Rachitis. Von ihnen hatten 88,6 % Karies bzw. einen zahnlosen Mund, das sind 13,1 % mehr als der Kariesdurchschnitt bei sämtlichen 1100 Patienten.

Nach Rösch leistet die mangelhafte Struktur, die entsteht, wenn die Entwicklungszeit der Zähne mit dem Auftreten der Rachitis zusammenfällt, der Karies Vorschub und bedingt ihr rasches Fortschreiten.

Neben diesen extreme Meinungen nach beiden Seiten vertretende Autoren, gibt es einige, die eine gemäßigtere Richtung vertreten. Calteur hat z. B. gefunden, daß „in der durchschnittlichen Häufigkeit der innerhalb des Schulalters durch Karies verloren gegangenen Zähne für Kinder mit und ohne Hypoplasien kein wesentlicher Unterschied besteht." Im allgemeinen ergab sich jedoch die Tatsache bei seinen Untersuchungen, daß „die Kariesfrequenz bei Kindern mit Schmelzhypoplasien etwas höher ist als bei hypoplasiefreien Kindern. Dieser Unterschied wird hauptsächlich bedingt durch eine größere Erkrankungshäufigkeit der hypoplasti-

schen ersten Molaren. In auffallendem Gegensatz hierzu stehen die Befunde an den unteren Frontzähnen, deren große Resistenz der Karies gegenüber durch die Existenz einer Hypoplasie in keiner Weise beeinträchtigt wird."

Die von Calteux gefundene größere Kariesfrequenz der 6-Jahr-Molaren erklärt Kolde wie folgt: „Vergegenwärtigt man sich, daß die Kauflächen hypoplastischer 1. Molaren oft stark zerklüftet sind, daß sich ferner auf den teilweise vom Kaudruck getroffenen Außenflächen der Höcker zahlreiche Grübchen oder auch Fissuren befinden, so erkennt man, daß die Zahl der vom Kaudruck getroffenen Fissuren gegenüber den normal gebildeten Molaren um ein beträchtliches erhöht ist. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Kariesfrequenz der ersten Molaren an sich schon die aller anderen Zähne übersteigt, erklärt sich auf diese Weise die von Calteux gefundene wesentlich erhöhte Kariesanfälligkeit der hypoplastischen 6-Jahr-Molaren, die beträchtlich über der der hypoplasiefreien und auch über der der anderen hypoplastischen Zähne liegt und auf deren Höhe in seinen Statistiken Calteux auch die von ihm gefundene etwas höhere Kariesfrequenz hypoplastischer Zähne allgemein gegenüber normal gebildeten Zähnen zurückführt."

In eigenen Untersuchungen von Hypoplasien in Frontzähnen beobachtete Kolde, daß nur in 3 von 41 Fällen eine Karies in den Hypoplasien die Schmelz-Dentin-Grenze überschritten hatte, daß sie also im ganzen gesehen sehr geringfügig war.

Schenkel hat die Gebißverhältnisse bei Kretinismus geprüft: Er fand eine deutliche Erhöhung der Kariesfrequenz. Scholz und Kranz berichten das Gleiche. Kranz erklärte dies damit, „daß bei Störungen der Thymusfunktion das Knochenwachstum infolge gestörten Stoffwechsels zurückbleibt, mithin auch die Zähne durch mangelhafte Festigung der Struktur leichter der Karies zum Opfer fallen." Mayrhofer und Kingslay bestreiten diese Ergebnisse. Ihre Untersuchungen ergaben eine gewisse Kariesimmunität bei Kretinismus (Scholz, Kranz, Mayrhofer und Kingslay nach Frenzel und Schenkel).

Den Abschnitt Hypoplasien abschließend, führe ich Walkhoff und Wannenmacher an, die, sämtliche gegensätzlichen Meinungen zusammenfassend, zu folgenden Schlußfolgerungen gekommen sind: „Die Strukturfehler an sich sind noch nicht für das Entstehen der Karies maßgebend. Dieselben Fehler, die das Gebiß des zivilisierten Europäers bezüglich seiner Schmelzstruktur aufweist, finden wir auch bei den Zähnen niederer Völkerschaften und ... auch in umfangreichem Maße bei den großen Anthropomorphen, bei denen die Zahnkaries außerordentlich selten auftritt" (Walkhoff). „Die Karies an Zähnen mit auffallend schlechter Schmelzstruktur (Hypoplasien) entsteht erst dann, wenn noch andere

Bedingungen hinzutreten. Einer dieser Faktoren ist in der Bildung von Retentionsstellen zu sehen, die ein ausgiebiges Haften von gärungsfähigen Speiseresten und Bakterienrasen ermöglichen" (Wannenmacher). Damit ist für das Verhalten der Hypoplasien chemischen und parasitären Einflüssen gegenüber dasselbe gesagt, was Faber für die Schmelzlamellen (s. oben) Bakterien gegenüber ausgesprochen hat.

Es sind bisher nur Gesichtspunkte angeführt worden, die sich auf den fertigen Ausbau des Schmelzes beziehen. Es bleibt noch zu betrachten, ob in der Entwicklungszeit des Zahnes auf die Mineralisation wirkende Einflüsse von Bedeutung sind auf die spätere Kariesbereitschaft. Als Beispiel soll der Einfluß der Trinkwasserhärte auf die Kariesfrequenz dienen.

Es stehen sich bei den Autoren hier zwei große Gruppen gegenüber: Die einen haben eine Abhängigkeit feststellen können, die anderen leugnen sie. Die ersten Untersucher sprachen sich dafür aus (Walker und Schlenker). Die erste größere Arbeit lieferte Röse, der mehr als 200 000 Schulkinder und Tausende von Musterungspflichtigen aus allen Gegenden Deutschlands, Skandinaviens, Hollands, Böhmens und der Schweiz statistisch erfassen konnte. Nach ihm ist die Härte des Trinkwassers der Kariesfrequenz umgekehrt proportional. In neuerer Zeit haben Walter und Reichenbach Beiträge zu diesem Thema geliefert. Der letztere achtete darauf, daß die Untersuchungsorte so ausgewählt wurden, daß die Bevölkerung überall dieselbe Lebensweise führte. Er fand dabei „einen auffälligen Unterschied in der Prozentzahl der an Karies erkrankten Schulkinder in der Art, daß die Erkrankungen in den Orten mit weichem Wasser einen höheren durchschnittlichen Prozentsatz der erkrankten Zähne aufwiesen (21,3 % gegen 9,1 %)." In jüngster Zeit hat Rösler in Thüringen an 6—14jährigen Schulkindern groß angelegte und sehr genaue Untersuchungen durchgeführt. Um Fehlerquellen nach Möglichkeit auszuschließen, hat er alle Kinder ausgeschieden, „die nicht selbst am betreffenden Ort geboren waren und von denen darüber hinaus nicht mindestens ein Elternteil auch von dort stammte". Es mußten deshalb von den insgesamt 4879 untersuchten Schulkindern 804 ausgeschlossen werden. Weiter wurde sorgfältig darauf geachtet, daß soziale Einflüsse beim Vergleich der Ergebnisse ausgeschaltet werden konnten („z. B. Eisenberg, sehr hartes und Zella-Mehlis, sehr weiches Wasser; beides Industriestädte; oder Tambach-Dietharz, Industrieort und Oberlind bei Sonneberg, Landwirtschaft; beide mit weichem Wasser"). Als Ergebnis stellt Rösler fest, daß mit abnehmender Trinkwasserhärte die Kariesfrequenz ansteigt. Über die Zahnfarben, die genauestens bei jedem Kind registriert wurden, macht er ebenfalls in diesem Zusammenhang interessante Feststellungen. In Orten mit hartem Wasser konnten zum größten Teil gelbe und weißgelbe Zähne beobachtet werden. Mit

abnehmender Wasserhärte werden im allgemeinen die Farben dunkler, bis sie in Orten mit sehr weichem Wasser stark nach der grauen Seite hin verlagert sind.

Die ersten Gegner dieser Theorie waren Rogger und Lauener; durch viele andere Forscher konnte dasselbe festgestellt werden (Frank, Greulich, Kuner, Kupferschmid, Nikolaus, Nissle, Schnitzer, Swrakoff). Die Ergebnisse Schnitzers sind besonders interessant: „Die höchsten Kariesziffern boten der Ort mit dem weichsten und der Ort mit dem härtesten Trinkwasser, dann folgten die beiden übrigen Orte mit weichem Wasser, am wenigsten Karies fand sich in dem anderen Dorf mit hartem Wasser." Diese eigenartigen Unterschiede konnten folgendermaßen erklärt werden: In den Orten mit großer Kariesfrequenz wurde sehr viel Weißbrot gegessen. Außerdem war es üblich, „den Kindern bei allen nur möglichen Gelegenheiten reichlich Zucker und Kuchen zu verabreichen." Das entsprechende Gegenteil war in den anderen Gemeinden zu beobachten.

Einen wesentlichen Gesichtspunkt führt Wannenmacher an, der geeignet ist, die Theorie der Kariesabhängigkeit von der Trinkwasserhärte stark zu erschüttern: „Bei solchen Untersuchungen ist vor allem eins zu berücksichtigen, in welcher Form das Trinkwasser aufgenommen wird. Sehr häufig wird Wasser gar nicht frisch getrunken, sondern nur in gekochten Getränken (Kaffee, Tee) genommen. Es ist bekannt, daß gerade beim Kochprozeß der größte Teil der Mineralsalze ausfällt, also gar nicht mehr aufgenommen werden kann. So sind also die Fehlerquellen bei diesen Untersuchungen nur schwer zu übersehen." (Alle Autoren nach Rascher, Reichenbach, Rösler und Wannenmacher.)

Ein oft angewandtes Mittel der Erforschung der normalen und pathologischen Schmelzhistologie ist die künstliche Entmineralisation. Einmal wird sie gebraucht, um den Schmelz mit dem Mikrotom schneiden zu können. Dieses Schneiden hat gegenüber dem Schleifen gewisse Vorteile. Es ist z. B. nicht möglich „Serienschliffe" in kleinem Abstand voneinander herzustellen, so wie man es mit Schnitten (Serienschnitten) machen kann. Da aber der Schmelz mehr als $^{9}/_{10}$ anorganische Substanz enthält, muß man das Entkalken mit dem Einbetten kombinieren. Bödecker war der erste, der auf diese Weise brauchbare Ergebnisse erzielen konnte, Fleischmann und Baumgartner haben ähnliches berichtet.

Die ausgedehntere Anwendung hat die künstliche Entkalkung aber gefunden zur Nachahmung der natürlichen Karies in vitro. Da nach Miller chemische und parasitäre Einflüsse bei ihrer natürlichen Entstehung maßgebend sind, haben viele Forscher den Wert der künstlichen Entmineralisation für die Kariesforschung angezweifelt. Dieser Einwand hat eine gewisse Berechtigung für die Dentinkaries, weil Zahnbein verhältnismäßig

viel organische Bestandteile enthält, so daß durch die Entkalkung allein eine vollständige Zerstörung nicht möglich ist; diese findet vielmehr erst durch die Tätigkeit der Bakterien statt. Im Schmelz liegen die Dinge gänzlich anders: Sind durch chemische Einflüsse sämtliche Mineralien aus dem Schmelz entfernt, bleibt ja nicht ein organisches Stützskelett bestehen, das erst durch Bakterientätigkeit vernichtet werden müßte, weil die geringen organischen Rückstände schon bei der Entkalkung ihren Halt verlieren und ebenfalls ausfallen. Viele Forscher wandten eingespeicheltes Brot zur Nachahmung der Karies an; bei diesen Versuchen wurde also die Bakterientätigkeit nicht außer acht gelassen (durch Verwendung frischen Speichels), nur wurde sie eben in den Hintergrund gedrängt, entsprechend ihrer geringeren Wichtigkeit bei der Schmelzkaries.

Unter anderen haben auch schon Miller und Walkhoff künstliche Karies erzeugt. Beide verwendeten Brot-Speichel-Gemisch und ließen die Präparate längere Zeit darin in einem Brutschrank z. T. mehrere Monate liegen. Miller schreibt darüber, daß „bei sämtlichen Versuchen Defekte entstanden, die der geübteste Mikroskopiker nicht imstande ist, von der Karies zu unterscheiden," und Walkhoff: „Diese an den ganzen Zähnen an jeder beliebigen Stelle künstlich erzeugte Zahnkaries kann von der natürlichen weder makroskopisch noch mikroskopisch unterschieden werden." (Miller und Walkhoff zitiert nach Hallberg.)

Die Ansichten dieser beiden namhaften Autoren geben mir die Berechtigung, die Ergebnisse meiner Versuche, die auf ähnlichen Grundlagen beruhen, auf die natürlichen Lebensverhältnisse zu übertragen.

Wie ich oben angeführt habe, ist der Zahnschmelz kein homogenes Gebilde, sondern seine Bestandteile sind nicht an allen Stellen im gleichen Verhältnis zueinander zu finden. Ich habe u. a. Lamellen und Retziusstreifen erwähnt als Stellen besonders intensiver Anhäufung organischen Materials. Ein anderer Gesichtspunkt soll jetzt folgen: Die Verteilung der organischen Substanz in den verschiedenen Zonen des Schmelzes (an der Kaufläche, im Zahnhalsgebiet usw.). Gottlieb untersuchte, um diese Frage zu klären, 120 Zähne, und zwar fertigte er nur Querschliffe in Serien an, so daß er schichtweise die Verhältnisse im Schmelz betrachten konnte. Er schreibt: „Im allgemeinen sind die Retziusstreifen an der Oberfläche dichter als in den Partien gegen das Dentin zu und gegen den Zervikalrand hin stärker als schneidwärts. Natürlich gibt es auch viele Ausnahmen. . . . An manchen Querschliffen war diese eigentümliche Verteilung wenig, an vereinzelten gar nicht ausgeprägt. Eine Umkehrung der geschilderten Verhältnisse habe ich jedoch nie angetroffen." W. v. Ebner hat feststellen können, daß „gegen die Kaufläche die Retziusstreifen weiter auseinanderrücken und sich endlich ganz verlieren." Ähnliche Folgerungen kann man aus den Ergebnissen von Karlström

ziehen: „Bei Bestimmung der oberflächlichen Härte des Schmelzes an der labialen resp. bukkalen Fläche permanenter Zähner fand sich, daß die Härte vom Zervikalrande bis zur Schneidekante kontinuierlich zunimmt. . . . Die spezifische Schwere verringert sich von der Schneidekante nach dem Zervikalrande." In etwas andere Richtung geben die Versuche von Christoff und Köhler: Ihre Untersuchungen erstreckten sich in erster Linie auf den eng an das Zement anschließenden Schmelzteil: „Die Verkalkung des Schmelzrandes ist als minderwertiger als diejenige der übrigen Schmelzpartien anzunehmen. Sie wird bedingt durch die in Mehrzahl vorhandenen Lamellen, durch die zahlreicheren und breiteren Retziusstreifen, durch die hier fast immer zu treffenden Zonen körnigen Aussehens, die sich öfter über die ganze Schmelzlage ausbreiten". Dasselbe hat Köhler gefunden.

Auf diesen Erkenntnissen beruht die Anlage zu der vorliegenden Arbeit: Meine Aufgabe ist es, experimentell festzustellen, ob verschieden aufgebauter Schmelz verschieden von (künstlicher) Karies angegriffen wird, und zwar sollen die Untersuchungen nicht an verschiedenen Zähnen, sondern jeweils an einem Zahn gemacht werden, der ja in sich, wie im vorigen Abschnitt mehrfach zitiert, an unterschiedlichen Stellen auch unterschiedlichen Gehalt an organischen Stoffen hat.

Das Eindringen der Säure in den Schmelz kann nur an fertigen Schliffen beobachtet werden. Wenn man einen ganzen Zahn der Säure aussetzt und erst nach der oberflächlichen Entmineralisation einen Schliff daraus herstellt, kann man in den meisten Fällen damit rechnen, daß der Entkalkungsrückstand beim Schleifen ausbricht, daß man also nicht oder kaum feststellen kann, wie weit der Schmelz entkalkt ist. Sichere Ergebnisse kann man nur erzielen, wenn der intakte Zahn beschliffen wird und die Schliffflächen so abgedeckt werden, daß an ihnen keine Säure angreifen kann, daß also wie im Mund nur die Zahnaußenfläche angegriffen wird und trotzdem eine Beobachtung des Versuchs von der Schlifffläche her möglich ist. Im folgenden wird die Herstellung der Präparate beschrieben:

Als Ausgangsmaterial wurden frisch extrahierte Zähne und solche, die schon kurze Zeit in Formalin gelegen hatten, nach gründlicher Wässerung verwendet. Mit einer diamantierten Separierscheibe wurde jeder Zahn zerschnitten, und die Stücke weiter zu Dünnschliffen verarbeitet. Zum Herstellen der Schliffe darf nur ein sehr feinköriger Schleifstein verwendet werden, wie weiter unten näher begründet ist. Nachdem der Schliff die aufsteigende Alkoholreihe durchlaufen hat, wird er in eine Klammer aus leicht federndem Eisendraht gesteckt. Ich habe mir eine ganz aufgebogene Büroklammer folgendermaßen dazu hergerichtet: Zunächst an beiden Enden zwei Ösen von ca 3 mm Durchmesser eingerollt, in der Mitte des gestreckten Drahtes eine Schleife von ca. 10 mm Durch-

messer gebogen und nun das ganze Stück so geformt, daß ungefähr ein Quadrat entsteht; in der Mitte einer Seite liegt die Schleife, genau gegenüber stoßen die beiden Ösen zusammen. Die Stellung der beiden Ösen zueinander ist derartig, daß die eine mit der Rundung, die andere mit der durch den vorher rechtwinklig abgebogenen Ösenring gebildeten Fläche nach dem von beiden Ösen in der Mitte gehaltenen Schliff gerichtet sind. Der Schliff wird also auf der einen Seite im ideal-mathematischen Sinne punktförmig, auf der anderen Seite ringförmig berührt. Der Zweck dieser Asymmetrie wird weiter unten erklärt. Nach oberflächlichem mindestens fünf Minuten dauerndem Trocknen — der Schliff kommt aus der aufsteigenden Alkoholreihe, aus Xylol — wird vorsichtig auf beide Schliffflächen dünnflüssiger Kanadabalsam aufgetropft und mit einem Glasstab bis zu den Kanten hingezogen. Sind diese scharf und unverletzt, was eben nur mit einem sehr feinen Schleifstein erreicht werden kann, dann bleiben die schmalen Außenflächen vollkommen frei von Kanadabalsam. Die fertige Kanadabalsamdecke ist ungefähr 1 2 mm dick. Ungefähr eine Woche wird jetzt der Schliff im Brutschrank getrocknet, wobei darauf zu achten ist, daß die Klammern so aufgehängt sind, daß die Schliffe zur Vermeidung unerwünschter Tropfenbildung waagerecht hängen. Bei senkrechter oder gekippter Lage fließt nämlich leicht doch noch Kanadabalsam über die Kanten auf die schmale Zahnaußenfläche über. Nach dieser Vortrocknung werden die überzogenen Schliffflächen mit Benzoetinktur betupft und wieder ein paar Tage getrocknet. Zur endgültigen Verwendung werden die Schliffe auf Deckgläschen geklebt, und zwar habe ich die Größe 10 × 18 mm gewählt, damit ich für die Versuchspräparate normale Präparatengläser nehmen konnte. Das Aufkleben wird auf folgende Weise vorgenommen: Die Klammerarme werden vorsichtig auseinander gebogen; dabei löst sich stets der Arm zuerst, der nur „punktförmig" berührt, nun legt man diese jetzt freie Fläche des Schliffs auf ein Deckgläschen und drückt vorsichtig fest, eventuell unter Zuhilfenahme eines winzigen Tröpfchens Benzoetinktur. Wenn man nun die Klammer in die eine Hand nimmt und mit der anderen mit Hilfe eines Instrumentes den Zahnschliff von dem Ösenring abdrückt und das ev. entstandene Loch in der Balsamdecke wieder mit Benzoetinktur ausfüllt und diese wieder ca. einen Tag trocknet, ist das Präparat fertig. In diesem Zustand liegt der Schliff mit etwa 1 2 mm Abstand auf dem Deckglas festgekittet.

Daß man die beiden Ösen der Klammer, wie oben beschrieben, verschieden berühren läßt, hat den Zweck, daß sich beide Schliffseiten bei diesem Verfahren nacheinander behandeln lassen. Wenn dagegen beide Ösen gleich anliegen (entweder „punktförmig" oder ringförmig), lösen sich beide Seiten, wenn man die Klammerarme auseinanderbiegt, zugleich ab, von beiden Berührungsstellen der Arme ziehen sich Balsamfäden in die Länge (d. h. die Verbindung Klammer Schliff reißt nicht

ab), der Schliff „hängt in der Luft" und dreht sich dabei, und nun können trotz aller Vorsicht die schmalen, sorgsam behüteten Schmelzaußenflächen auf diese Weise noch mit Balsam in Berührung kommen, wodurch das Präparat unbrauchbar geworden ist.

Zunächst hatte ich eine andere Methode angewandt, die zwar mühevoller war, aber auch oft zum Erfolg führte. Ich hatte die Klammerenden nicht zu Ösen umgebogen, sondern so gelassen, wie sie sind, alles andere wurde genau so gebogen, daß also auch eine Klammer in Quadratform entstand. Zwischen die beiden Enden wurde der Schliff geklemmt, wobei aber Schwierigkeiten auftraten: Es ist nämlich gar nicht einfach, die beiden Klammerenden in der nicht gebogenen Form federnd aufeinander ruhen zu lassen, ohne daß sie aneinander vorbeirutschen. Besonders leicht möglich ist es, wenn zwischen ihnen noch der Schliff liegt, dann genügt oft schon das Aufhängen der Klammer zum Trocknen des Schliffs zum Verrutschen ihrer Enden, wobei natürlich der Schliff sehr leicht an der Schmelzaußenfläche beschmiert werden kann, so daß er unbrauchbar wird. Ein Grund zum leichten Verrutschen ist besonders auch die nicht genaue runde Fläche am Ende des Klammerdrahtes.

Das oben beschriebene fertige Präparat mußte nun der Säure ausgesetzt werden. Bei Säuren, deren Wirkung nach Minuten oder Stunden schon zu beobachten war (Salzsäure), genügte die einfache Abdeckung des Schliffs durch Kanadabalsam (ohne Benzoetinktur). Wenn dagegen längeres Stehen des Präparates im Brutschrank notwendig war, mußte der Kanadabalsam gegen die Säure noch besonders isoliert werden, da er sonst vollkommen erweichte und undurchsichtig wurde. Verschiedene Vaselinesorten erwiesen sich als mehr oder weniger unzuverlässig, auch Zaponlack brachte Mißerfolge. Erst mit Benzoetinktur gelangen fast sämtliche Versuche. Als ich nach langem Probieren endlich hiermit Erfolge aufzuweisen hatte, versuchte ich in mehreren Versuchsreihen auch noch, ob nicht der aus der aufsteigenden Alkoholreihe (unter Fortlassung des Xylols) kommende Schliff nicht sofort auf den Schliffflächen mit Benzoetinktur abgedeckt werden könnte, da dann die Kanadabalsamzwischenschicht und damit langwieriges Trocknen überflüssig gemacht würde. Aber es ergab sich, daß bei dünnem Auftragen der Tinktur die Ränder der Benzoetinkturdecke (die doch nach dem Entkalken nur noch organische Rückstände zwischen sich halten) oft schon in dem Entkalkungsmedium oder aber später den mechanischen Beanspruchungen beim endgültigen Einbetten usw. nicht standhielten. Bei dickerem Auftragen der Benzoetinktur erwies sich die Deckschicht als zu wenig durchsichtig, also blieb nur noch der Weg der kombinierten Kanadabalsam-Benzoetinktur-Abdeckung.

Für meine Versuche verwendete ich 1. 1%ige Salzsäure, 2. durchgekautes Weißbrot und 3. 20%ige Maisstärkelösung mit frischem Speichel zu gleichen Teilen. In den Vorversuchen habe ich dazu verschiedene an-

deren anorganische und organische Säuren und verschiedene Kohlehydratlösungen (Reisstärke, Kartoffelstärke, Traubenzucker) ausprobiert, doch wurde es für zweckmäßig befunden, nur bei obigen drei Substanzen zu bleiben, weil teils zu lange Dauer der Entkalkung, teils andere nachteilige Umstände die anderen Stoffe auszuschließen wünschenswert erschien. Die Dauer der Säureeinwirkung war bei Salzsäure 2 Stunden, bei Maisstärke 1 bis 5 Tage und bei Brotbrei 7 Tage.

Da die anentkalkten Schliffe, die aus der Entmineralisierungsflüssigkeit kommen, keine Dauerpräparate darstellen, müssen sie noch eingebettet werden. Dies ist nicht etwa in Kanadabalsam möglich, da dazu erst entwässert werden müßte (mit Alkohol und Xylol, die beide den Balsam auflösen und damit augenblicklich das Präparat vernichten). Nach vielerlei Versuchen kam ich auf Eiweiß-Gelatine. Diese wird erwärmt und auf einen Objektträger aufgetropft. Darauf wird das nasse Präparat, daß natürlich von Brotresten usw. sorgfältig gereinigt und abgespült ist, — es befindet sich ja bereits auf einem Deckgläschen — aufgelegt, und mit beendeter Abkühlung (ein paar Minuten) ist das Präparat fertig.

Bei der Betrachtung durch das Mikroskop entstehen nach der Entmineralisierung durch Salzsäure keine Schwierigkeiten. Dagegen war bei den anderen Entkalkungen wegen der weniger stürmischen Einwirkung oft so viele Rückstände und Entkalkungsprodukte vorhanden, daß bei normalem Licht nichts oder kaum etwas zu sehen war. Hier mußte polarisiertes Licht aushelfen. Besonders K e i l hat darüber Genaueres berichtet: „Während partieller Entkalkung fertigen Zahnschmelzes geht seine negative Doppelbrechung in positive über. . . . Die nach völliger Entkalkung zurückbleibenden organischen Bestandteile zeigen positiven optischen Charakter in bezug auf die Länge.“ Bemerkt sei noch, daß bei einem Teil der Präparate in den Strahlengang des Mikroskops ein Gipsplättchen eingeschaltet werden mußte, um durch die dadurch entstandenen Interferenzfarben die Entkalkung gut sichtbar zu machen.

Von ausgewerteten Versuchen wurden insgesamt 30 mit eingespeicheltem Brotbrei und je 10 mit Maisstärke und 1%iger Salzsäure durchgeführt. An einigen Zähnen ergab sich, daß im Zahnhalsgebiet die künstliche Entkalkung weniger weit fortgeschritten war als an der Kaufläche (den Begriff „Zahnhals“ fasse ich hier überall etwas weiter als gewöhnlich; der Einfachheit halber verstehe ich hier immer das Gebiet vom Schmelzrand an bis knapp unter den größten Umfang). In wenigen Fällen ergab sich das Gegenteil. Die meisten Zähne hatten aber doch ungefähr gleich breite Entkalkungszonen an der Kaufläche und am Zahnhals aufweisen. Eine Einschränkung muß dabei allerdings gemacht werden. Diese gleiche Breite darf nur durchschnittlich verstanden werden. Umstände, die sich näherer Untersuchung entziehen, haben dazu geführt, daß an einigen Stellen im mikroskopischen Bild arkadenförmige Linien, deren

Spitzen oft auch sogar bis zur Schmelzoberfläche zurückgehen, entstehen, an anderen Stellen fast flammenförmige Bilder. Auffällig ist es, daß bei Verwendung von stark wirkenden Säuren derartige Unregelmäßigkeiten nicht entstehen, sondern die Entkalkungszonen viel regelmäßiger in ihrer Breite erscheinen. Vermutlich liegt dies in der stürmischen Entkalkung, die die besonderen Umstände (s. oben), die sonst gewisse Hindernisse bilden, nicht zur Geltung kommen läßt. Man wird also annehmen können, daß die Entmineralisation durch starke Säuren längst nicht so der natürlichen Karies nahekommt wie die durch schwache. Um welche Säuren es sich bei der Kohlehydratgärung handelt, hat W o h i n z genau festgestellt. Es sind nach seinen Untersuchungen drei verschiedene Gärungen möglich: 1. Milchsäuregärung, 2. alkoholische Gärung und 3. Buttersäuregärung. Zu Milchsäure vergären mit Ausnahme des Rohrzuckers alle für die Ernährung in Frage kommenden Di- und Monosaccharide, desgleichen alle Stärkearten, gleichgültig, ob diese Kohlehydrate ungelockert in Suppen, Klößen usw. oder durch Sauerteig oder Backpulver aufgelockert (nicht aber durch Hefe) verwandt werden. Bei meinen Versuchen mit Maisstärke war also Milchsäure das entkalkende Reagens.

Anders dagegen ist der Gärverlauf in Speichelbreien, die aus Gebäck hergestellt werden, welches mit Hefe gelockert ist. Dies war bei meinen Versuchen mit Weißbrotbrei der Fall. Hier entsteht in der Gärung Alkohol. Mit großer Wahrscheinlichkeit kommt für die zahnschädigende Wirkung hierbei das Zwischenprodukt Brenztraubensäure in Betracht. Setzt man dem Gemisch vorher Milchsäure hinzu, so wirkt diese in diesem Fall nicht nur nicht karieseinleitend, sondern im Gegenteil eher karieshemmend, weil sie die Wasserstoffionenkonzentration in ein für die Erreger der alkoholischen Gärung ungünstiges Gebiet verschiebt und diese somit verhindert.

Die dritte Form, die Buttersäuregärung, entsteht, wenn man Mehl und Rohrzucker durchkaut und dieses Gemisch im Brutschrank stehen läßt. Diese Art Gärung kommt nur für die sog. Bäckerkaries in Frage. Sie stellt auch die einzige Möglichkeit dar, daß Rohrzucker den Zähnen schädlich werden kann. Sonst ist noch der Bienenhonig als unschädlich anzusehen, da er auch keiner Gärung unterliegt. Alle im übrigen in Frage kommenden Kohlehydrate sind gärungsfähig und also als zahnschädigend anzusehen.

Interessant ist, daß die Säurewirkung innerhalb gewisser Grenzen n i c h t von der Wasserstoffionenkonzentration der Lösung abhängt. Untersuchungen darüber haben T h u r l o w und B u n z e l l angestellt. „Z. B. haben acid. tartaricum, lacticum und malicum mit P_H 1,6—2 eine stärkere Wirkung als acid. sulfuricum mit P_H 0,5.“

Die Gebiete mit Schmelzlamellen haben verschieden auf Salzsäure und Brotbrei reagiert. Bei der ersteren waren die Entkalkungszonen zwischen

Lamellen meist treppenförmig voneinander abgesetzt, d. h. für die Säure schienen die Lamellen ein unüberbrückbares Hindernis zu sein. Genau umgekehrtes Verhalten zeigten sie bei längerer Einwirkungsdauer (Brotbrei). Es war zu beobachten, daß hier die Lamelle eine Stelle verminderter Resistenz war. Die Entkalkung ging tiefer in den Schmelz hinein, da wahrscheinlich die Säure zuerst in die Lamellen eindrang und von dort in seitlicher Richtung den Schmelz angriff.

Um die Wirkung der Milchsäure auch auf eine vom Schmelzoberhäutchen entblößte Oberfläche zu studieren, habe ich bei den meisten Präparaten ein paar Stellen angeschliffen, und zwar einmal mit einem neuen Karborundstein und zweitens mit der feinen Schleifscheibe, auf der die Schliffe angefertigt worden waren, und mit der diamantierten Separierscheibe, mit der ich die Zähne zerschnitten hatte. Diese Diamantscheibe hatte, als ich sie zu dem genannten Zweck verwendete, mindestens 150 Scheiben von ganzen Zähnen abgeschnitten (s. oben) und war bereits ziemlich stumpf. Das Schneidvermögen war zwar noch sehr gut, aber schon beim Vergleichen mit der Fingerspitze konnte man feststellen, daß der neue Karborundstein ganz erheblich rauher war als die alte Diamantscheibe und auch der große Schleifstein, auf dem die Schliffe angefertigt wurden. Bei der Entmineralisation wurden die von den letzteren beiden feinen Schleifkörpern angeschliffenen Stellen genau so angegriffen wie die unverletzten Stellen, dagegen ging die Entkalkung viel tiefer, als der grobe Karborundstein verwendet wurde. Man wird sich dies so deuten können, daß durch ihn die Schmelzoberfläche weitgehend zertrümmert wurde, so daß die Säureeinwirkung viel leichter und schneller vor sich gehen konnte. Eine wichtige Folgerung für die konservierende Zahnheilkunde kann aus diesen Ergebnissen gezogen werden: Verletzt man beim Präparieren einer Kavität im Approximalraum den Nachbarzahn, muß man unbedingt die verletzte Stelle wieder „polieren", damit dort nicht eine Zone verminderten Resistenz künstlich geschaffen wird.

Gesondert wurde auch jede Abnutzung durch den Kauakt beobachtet, soweit dies klar erkennbar war. Es konnte nirgends eine verstärkte Entkalkung festgestellt werden. Dies entspricht ja auch der klinischen Erfahrung, indem nämlich abgekaute Flächen genau so resistent sind wie nicht abgekaute.

Jede Arbeitsmethode birgt in sich irgendwelche Fehlerquellen. Man muß deshalb danach sehen, durch Kontrollmaßnahmen die Richtigkeit der obigen Ergebnisse zu beweisen. Bei meinen Versuchen galt es zu beweisen, daß z. B. eine Zone, die im Schliffpräparat gar nicht oder nur auffallend wenig im Vergleich zu benachbarten Zonen entmineralisiert war, wirklich keine Kariesbereitschaft hatte oder ob nur an dieser Stelle die schmale Zahnaußenfläche mit Kanadabalsam trotz aller Vorsicht bedeckt worden war, wodurch man natürlich vollkommen irreführende Re-

sultate bekommen hätte. Ich bin folgendermaßen vorgegangen. Jeder zu untersuchende Zahn wurde in 2 Teile zerschnitten. Aus der einen Hälfte wurde ein Dünnschliff hergestellt und, wie oben geschildert, zum fertigen Schliffpräparat hergerichtet. Die andere Hälfte blieb als Stück erhalten. Die Schnittfläche wurde sauber glatt geschliffen. Im folgenden wurde dieses Stück genau so behandelt wie das fertige Schliffpräparat, d. h. es lag mit ihm im selben Glas bei der Entmineralisation bzw. in derselben Säure. Bei der ersten mikroskopischen Untersuchung danach wurde jedesmal genau darauf geachtet, daß an den Stellen, an denen der Schliff breite Entkalkungszonen aufwies, auch die andere Zahnhälfte an den entsprechenden Stellen weiße, kalkige Flecken zeigte, und umgekehrt, daß dort, wo am Schliff nur geringe Entkalkung zu sehen war, auch das Stück keine kalkige Färbung aufwies. Nur in zwei Fällen war eine Übereinstimmung nicht zu erkennen.

Durch diese Kontrolle glaube ich bewiesen zu haben, daß die beschriebene „Eindeckungsmethode" verwertbare Ergebnisse liefert. Sie ist zwar recht kompliziert, und man braucht viel Zeit und Geschicklichkeit, um die Präparate herzustellen, aber ich denke doch, daß nach vorliegenden einleitenden Untersuchungen weitere folgen werden, z. B. an ausgesprochen hypoplastischen Zähnen oder, um die Rolle des Speichels bei der Karies zu klären, wobei man jeden Zahn in so viele Scheiben teilen könnte, wieviel Speichelsorten man untersuchen will, damit unter genau gleichen Verhältnissen die Versuche stattfinden.

Zusammenfassung.

1. Nach den Versuchsergebnissen ist es zumindest zweifelhaft, daß unterschiedlicher Mineralisationszustand des Schmelzes allein und Kariesbereitschaft irgendeine Beziehung zueinander haben.
2. Ein überall gleichmäßiges Entkalken des Schmelzes war nicht zu beobachten. Dieses ging vielmehr oft arkaden- oder flammenförmig vor sich. Eine Erklärung kann hierfür noch nicht gegeben werden.
3. Lamellen bilden bei Säuren mit langdauernder Wirkung eine Stelle verminderter Resistenz. Bei intensiv wirkenden Säuren scheinen sie für die Säure ein Hindernis zu sein.
4. Durch einen groben Schleifkörper beschliffener Schmelz ist der Karies gegenüber ganz erheblich weniger resistent als unverletzter Schmelz. Der Grund hierfür ist wahrscheinlich eine Zertrümmerung der oberflächlich liegenden Schichten.
5. Durch einen feinen Schleifkörper beschliffener Schmelz verhält sich dagegen nicht anders als unversehrter Schmelz. Daraus folgt, daß man

unbedingt polieren muß, falls man beim Präparieren im Approximalraum den Nachbarzahn mit angeschliffen hat.

6. An durch den Kauakt abgenutzten Stellen geht die Entmineralisation mit derselben Schnelligkeit vor sich wie an unversehrten Stellen.

Am Schluß meiner Arbeit möchte ich nicht versäumen, Herrn Prof. Dr. Wannenmacher für die freundliche Überlassung des Themas und die ständige Hilfsbereitschaft meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Stufe an der Lamelle ⟵

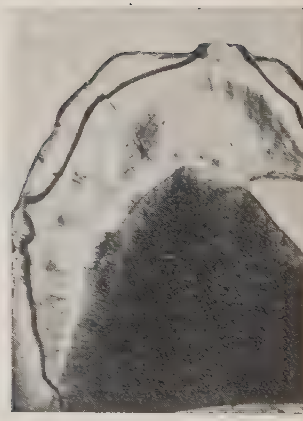
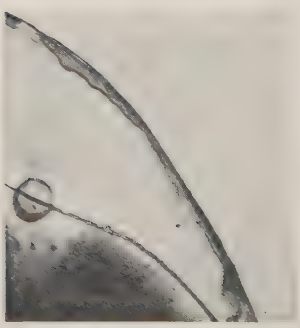


Abb. 1.

1%ige Salzsäure, Einwirkung 2¼ Stunden. Auf dem Bild ca. 4 mm breiter Entkalkungsraum, davon etwa 1 mm breit organische Rückstände und Entkalkungsprodukte vorhanden.



⟵ Eindringen der Säure in die Retziusstreifen

⟵ Der schwarze Saum ist Zahnstein

Abb. 2.

20%ige Maisstärkelösung und Speichel (frisch) zu gleichen Teilen, Einwirkung 5 Tage im Brutschrank.

Arkadenförmige Linien →

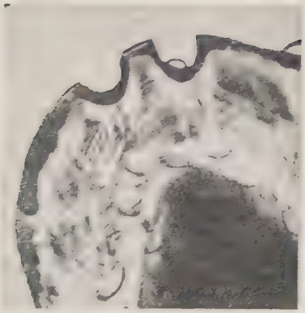


Abb. 3.

Weißbrot-Speichel-Brei, Einwirkung 7 Tage im Brutschrank. Einschnitte mit abgenutzter Diamantscheibe hergestellt.

Nicht vollständige Entmineralisation, sondern nur erst Eindringen in die interprismatische Substanz. →



Abb. 4.

Weißbrot-Speichel-Brei, Einwirkung 7 Tage im Brutschrank. Einschnitte mit abgenutzter Diamantscheibe hergestellt. Auf dem Bild 2—4 mm breite Entkalkungszonen.

Schrifttum.

Baumgartner: Über das Wesen der Zahnkaries. D. M. f. Z. 1911, S. 321.

Bibby, Basil Glover: The organic structure of dental enamel as a passive defense against caries. J. dent. Res. 1932, S. 99.

Black: Konservierende Zahnheilkunde.

Bödecker, C. F.: Eine Entkalkungsmethode für Gewebe, welche weniger organische Substanz enthalten, insbesondere Zahnschmelz. Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 22.

Brady, Ering P.: Die Zahnkaries. J. amer. dent. Assoc. 22, H. 12 (1935), Ref.: Zentrbl. Zahn-Mund-Kieferhlk. 1, S. 268 (1936).

Brammer, Friedrich u. Brauer Karl,: Über organische Substanz im Schmelz menschlicher Zähne. D. M. f. Z. 1926, S. 473.

Calteux: Die Schmelzhypoplasie. Dtsche. Zahnhkde. Heft 88.

Christoff, Konstantin: Schmelzrand am Zement und seine Beziehungen zur Halskaries. D. M. f. Z. 1927, S. 617.

Driak: Bemerkungen zur Kariesfrequenz der Wiener Bevölkerung. Oe. Z. f. Stom. 1929, S. 743.

v. Ebner, W.: Histologie der Zähne aus Scheff: Handbuch der Zahnheilkunde, S. 334.

Faber, Fritz: Die Schmelzlamellen und ihre Beziehung zu parasitären Prozessen. V. f. Z. 40, S. 197 (1924).

Faber, Fritz: Histologie. Fortschritte 8, 1 S. 252 (1932).

Fleischmann: Eine einfache Methode zur Darstellung der organischen Bestandteile des Schmelzes. Zeitschr. f. wiss. Mikrosk. 25, S. 316.

Frenzel, A.: Kiefer und Zähne als Entwicklungsdiagnostikum einer gestörten körper-seelischen Individualkonstitution, dritter Teil: Die Kariesbereitschaft. D. Z. M. u. Khkd. 2, S. 378 (1935).

Gassmann, Th.: Chemische Untersuchungen der Zähne. Hoppe-Seylers Zeitschr. f. physiol. Chemie 63, S. 397 (1909).

Gassmann, Th.: Über den Kalkgehalt der Zähne und der Knochen und seine Beziehungen zur Zahnkaries und Rachitis. Schweiz. M. f. Z. 43, S. 253 (1933).

Gottlieb, B.: Schmelzhypoplasie und Rachitis. Wiener Vjschr. f. Z. 36, S. 71 (1920).

Gottlieb, B.: Untersuchungen über die organische Substanz im Schmelz menschlicher Zähne. Österr.-Ung. Vjschr. f. Z. 31, S. 19 (1915).

Hallberg, Per: Über die Erzeugung und Bedeutung der künstlichen Zahnkaries. D. Z. W. 31, S. 777 (1928).

Karlström, Sam: Eine chemische Untersuchung der organischen Substanz des Schmelzes. Ref. Z. R. 37, Sp. 148 (1928).

Karlström, Sam: Physical, physiological and pathological studies of dental enamel usw. Diss. Upsala 1931 Sv. Tandläk.-tidskr. 1931 Supplement Nr. 1 Stockholm 1931. Ref. Fortschritte d. Z. 8, 2 S. 366 (1932, 2).

Keil, Albert: Der menschliche Zahnschmelz im kariösen Zustand. D. Z. M. u. Khkd. 4, S. 60 (1937).

Keil, Albert: Über den Feinbau der harten Zahnsubstanzen nach Untersuchungen im polarisierten Licht. D. Z. M. u. Khkd. 2, S. 741 (1935).

Keil, Albert: Über den Wandel der Doppelbrechung des Zahnschmelzes bei Entkalkung und Karies. Zeitschr. Zellf. 22, S. 633 (1935).

Köhler, Otto: Die Schmelzzementgrenze und ihre Beziehungen zur Karies. Z. R. 1930, Sp. 1359.

Kolde, Friedrich: Besteht bei hypoplastischen Zähnen eine erhöhte Kariesbereitschaft? Med. Diss. Breslau 1936. D. Z. W. 1937.

Lehner und Plenk: Die Zähne, Abschn. III, 8: Retziusstreifen S. 550. 9: Büschel und Lamellen S. 554 im Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen Band 5, 3. Teil. Verlag Julius Springer Berlin 1936.

Maldon: Eine chemische Studie über „mottled teeth." Brit. dent. J. 60. S. 556 (1936). Ref. Zentrbl. Zahn-Mund-Kieferhkd. 3, S. 53 (1938).

McKay, Frederick S.: The etablishment of a definite relation between enamel that is defective in its structure, as mottled enamel, and the liability to decay. Dent. Cosmos 71, S. 747 (1929). Ref. Z. R. 1930, Sp. 1616 und nach Zilkens: Path. Histologie der Zähne in Fortschritte d. Zahnhkde. 1931, 1 S. 293.

McKay, Frederick S.: The relation of mottled enamel to caries. J. amer. dent. Assoc. 1928 S. 1429. Ref. D. M. f. Z. 1929 S. 808 und Fortschritte d. Zahnhkd. 5, 2 S. 407 (1929).

Mellanby, May: The structure of human teeth in relation to caries. Brit. dent. Journ. 48, S. 1481 (1927). Ref. D. M. f. Z. 1928 S. 210 und Z. R, 37, Sp. 1190 (1928).

Mellanby, May: Tooth structures, diet, caries. Dominion dent. J. 1928 S. 290. Ref. D. M. f. Z. 1929, S. 695

Meyer, Wilhelm: Normale Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen. Verlag J. F. Lehmann, München 1932.

Milhahn: Die Kariesfrequenz bei 1400 untersuchten Patienten usw. Med. Diss. Hamburg 1933.

Pickerill, H. P.: Verhütung von Zahnkaries und Mundsepsis.

Rascher, Werner: Beitrag zum Kariesproblem. Kampf der Karies 1938. S. 37 und 45.

Reichenbach: Die Bedeutung der Härte des Trinkwassers für die Häufigkeit der Zahnkaries. Med. Klin. 1923 S. 1277.

Rösch, Albert: Die heutigen Anschauungen über die Beziehungen zwischen Rachitis und Zahnkaries. Med. Diss. Tübingen 1931.

Rösler, Erne: Trinkwasserhärte und Kariesfrequenz in Thüringen. Kampf der Karies 1938, S. 49 und 61.

Schenkel, Karl: Untersuchungen am Gebiß von Allgäuer Vollkretinen unter Berücksichtigung der Kariesfrage. Zeitschr. Konstitutionslehre 1932 S. 585.

Thurlow, Sylvia und Bunzell, H. H.: Tooth decay studies. Dent. Cosmos 1927, H. 1. Ref. Z. R. 37, Sp. 356 (1928).

Walkhoff: Biologische Studien über das Wesen der Zahnkaries. Dtsch. Zahnhkd. Heft 42.

Wannenmacher, Eugen: Fragen und Aufgaben der Kariesprophylaxe. .Verlag Meußer, Leipzig 1937.

Wohinz, Rudolf: Über Versuche zur Kenntnis der primären Vorgänge bei der Zahnkaries. D. Z. M. u. Khkd. 2, S. 68 (1935).

Wohinz, Rudolf: Zucker und Zähne. Kampf der Karies, 3, S. 41 (1938).

Lebenslauf.

Ich, Richard Adolf Bardehle, bin am 18. April 1914 in Berlin-Lichterfelde als Sohn des Betriebsingenieurs Adolf Bardehle und seiner Ehefrau Else, geb. Natho geboren. Ostern 1920 trat ich in die Vorschule des Schillergymnasiums zu Berlin-Lichterfelde ein und bestand auf dieser Anstalt Ostern 1932 mein Abitur. Nachdem ich ein Semester an der Technischen Hochschule Berlin studiert und davor und danach als Werkstudent gearbeitet hatte, begann ich im Herbst 1932 auf der Universität Berlin mein zahnärztliches Studium. Das Physikum bestand ich dort im Herbst 1934, das Staatsexamen Juni 1937, beides mit gut.